

産業情報論集 第16巻 第1・2号合併号

## 組込みソフトウェア設計における課題解決型学習の実践と検証

### Assessing the Effectiveness of Project-Based Learning in Embedded Software Development

小渡 悟  
Satoru ODO

曹 真  
Makoto SO

沖縄国際大学産業情報学部

2020 年 3 月



# 組込みソフトウェア設計における課題解決型学習の実践と検証

## Assessing the Effectiveness of Project-Based Learning in Embedded Software Development

小渡 悟  
Satoru ODO  
曹 真  
Makoto SO

### 【要 旨】

課題解決型学習 (PBL; Project Based Learning) の実施講義概要, ならびに, アンケートの分析結果について報告する. 実施講義ではチームで課題を進めるごとに課題に対する興味, 積極性, 満足度が高まることが確認できた. アンケート結果をクラスター分析と因子分析を用いて解析したところ, 課題に対する興味が高く, 学習の自己評価も高いグループとそうでないグループの2グループに分けられた. すべての課題をクリアしながらも学習意欲が低い受講生がいることが示唆されたことから, これらの受講生への対応を検討する必要があることが確認できた.

### 【目 次】

1. はじめに
2. 課題解決型学習
3. 講義構成
4. アンケート分析
5. まとめ

#### 1. はじめに

高度情報化社会の現代においてIT技術は急速に高度化・多様化しており, これらに対応した専門的な知識や技術を有する人材の育成が求められている. 従来型の「講義」と「実験・演習」の積み上げる方式では, 高度化・多様化したIT技術を網羅することは困難になってきた. また, 単に知識や技術を増やす教育では, 逆に多くの学生が目的を見失い, 学習意欲をそがれかねない. 私立大学情報教育協会による平成28年度の加盟大学・短期大学を対象とした学

生の学習に関する問題調査によれば「主体性の欠如」「基礎学力の不足」「学習意欲の

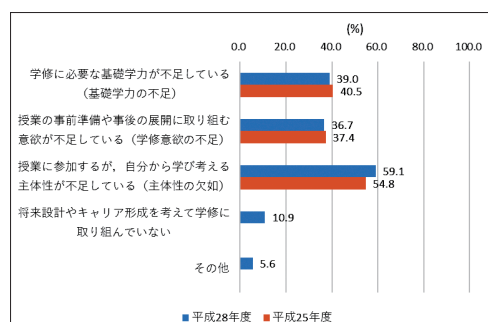


図1 学生の学修に関する問題  
(私立大学教員の授業改善白書<sup>1</sup>の図を一部加筆・修正)

不足」が教育での課題としてあげられている。図1に示すように、平成28年度において「基礎学力の不足」39.0%、「学修意欲の不足」36.7%と高く、教育現場で取り組まなければならない差し迫った問題となっている。「主体性の欠如」は平成25年度の54.8%から平成28年度では59.1%と増加しており、同白書では、教員による一方的な講義形式の教育とは異なり、学修者の能動的な学修への参加を取り入れた教授・学習法であるアクティブ・ラーニングの必要性を教員が意識していることが伺えるとしている<sup>(1)</sup>。

学修意欲の不足については、学びの動機付けや知的好奇心の喚起を行えば改善できるものと思われるため、アクティブ・ラーニングにより学生が主体的に取り込むことで学習意欲の向上、それにともない基礎学力の向上も見込める。

アクティブ・ラーニングによって学修者が能動的に学修することにより、認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験を含めた汎用的能力が養われることが期待されている。手法としては発見学習、問題解決学習、体験学習、調査学習等が含まれるが、教室内でのグループ・ディスカッション、ディベート、グループ・ワーク等も有効なアクティブ・ラーニングの方法とされている。我々は具体的な課題を設定することで問題解決に向け取り組みとして課題解決型学習（PBL；Project Based Learning）の手法を用いた。PBLは工学教育におけるものづくりなど演習を通して実践的技術、職業的技術を修得する場でしばしば採用されている<sup>(2, 3)</sup>。近年では工学系大学のみならず、PBLを実施する大学が増加している<sup>(4, 5)</sup>。我々はPBLに着目し、具体的な課題を設定することで課題解決に向け、学生が意欲的に取り組める指導方法について

検討を行っている<sup>(6)</sup>。その取り組みとして産業情報学科において2013年よりLEGO Mindstormsを用いたロボット制御の講義を実施、正規科目外では2011年から学生らを中心としたETロボコンへの出場を行っている。

本稿では、産業情報学科におけるPBL実施講義の実践報告と課題ごとのアンケート分析結果を報告する。

## 2. 課題解決型学習

（PBL；Project Based Learning）

### 2.1 LEGO Mindstorms

教材としてLEGO社の教育版LEGO Mindstormsを使用する。マイクロプロセッサ搭載のインテリジェントブロックを中心にセンサ、モータ、レゴブロックを組み合わせることでロボット製作が行えるロボティクス製品である。PC上で開発したプログラムをUSB経由でインテリジェントブロックに転送し実行することができる。特別な工具を必要とせず、容易に筐体を組み立てることができるため、小学校から大学までの多くの教育機関においてPBL教育や研修に利用されている<sup>(7)</sup>。

教材として使用し始めた2011年からNXTを使用していた。2013年に後継機となるEV 3が発売されたことから2015年からはEV 3を使用している。EV 3からはセンサとしてジャイロセンサが標準で使用できるようになった。

### 2.2 ロボット制御プログラミング

2011年から学生有志によるチームでETロボコン<sup>(8)</sup>に取り組んでいる。ETロボコンとは組込みシステム技術協会が主催するレゴ社MINDSTORMSを用いた組込みソフトウェア技術教育を主眼としたコンテストである。図2に示すように同一のハー

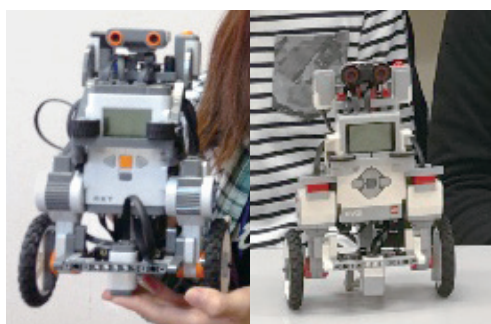


図2 ETロボコン走駆体  
(左：NXT版，右：EV3版)

ドウェア（LEGO Mindstorms）を用い、UML等で分析・設計したソフトウェアを搭載し自律走行させ、エントリー分野に応じた課題に挑戦する。若手、初級エンジニア、および中級エンジニアの育成を目指し、分析・設計モデリング開発、製品サービスの企画開発にチャレンジする機会を提供することを目的としている。

産業情報学科では沖縄地区大会において2013年度に総合3位、2016年度に特別賞のIPA賞を受賞している。その他、IT津梁まつりのETロボコン大会では2012年に2位に入賞している。

ETロボコンは学生有志による活動のため、事務局主催による技術教育を受けているが、教員による系統だった指導は受けていない。産業情報学科のカリキュラム内では、教職科目のシステム設計実習、専門科目のロボットシミュレーション（2017年度まではロボットプログラミング）にて組み込みソフトウェア設計としてロボット制御プログラミングを取り扱っている。本稿では3章以降でロボットシミュレーションでの取り組みについて詳細を述べる。

### 3. 講義構成

#### 3.1 講義概要

2018年度前期に、産業情報学科3年次対象の専門科目「ロボットシミュレーション」

での実施例を示す。

受講生39名、3～5名の8グループに分け、各グループに図3に示すようなLEGO Mindstorms EV3基本セットと拡張セットの1セット配置した。表1に示すように講義は前半の第1回～第7回にてチームビルディング、ならびに、ロボットの基本原理、基本操作について演習を通して講義を行い、課題1「車輪を使わない前進ロボットタイムアタック」を実施した。講義の後半では第8回～第11回にて光センサを用いたライントレースについて講義と演習を実施し、課題2を課した。最後に第12回～第15回で課題3（自由課題）を課し、グループごとのプレゼンを含む発表会を行った。



図3 MINDSTORMS EV3基本セットと拡張セット

表1 講義概要

回	テーマ
1	ガイダンス
2	ロボットの基礎
3	チームビルディング
4～7	課題1：車輪を使わない前進ロボットタイムアタック
8～11	課題2：ライントレースタイムアタック
12～15	課題3：自由課題
16	総括

学生同士の関係形成や協調学習を促すことを目的として課題1、課題2は競技形式とした。競技形式にすることで共通の目標が設定され、勝つための議論が行うことを期待できる。そのため、各課題の評価基準とルールは単純明快なものにした。また、学生らの知識習得に合わせ難易度の設定を行った。課題3は、課題1、課題2を通してセンサの入出力、ロボットの制御につい

て得た知識と技術をもとに自由な発想でロボットの制作を行わせた。

### 3.2 課題1の講義設計

講義概要、ロボットの要素技術、LEGO Mindstorms EV3の開発環境、ならびに、基本的なプログラミングに関する講義が行われ、その後に課題1へとつながる。多くの受講生がロボット制御プログラムの初心者であるため、表2に示すように課題1の競技規約は直線距離を移動する単純なものとした。ただし、チーム内で移動方式などを検討してもらうため、車輪を使わない移動方式とした。

図4に課題1において各チームで作成したロボットの例を示す。スタート地点からゴール地点までの距離1mを移動する。8チームが参加し、平均4.30秒でゴールまで到達できた。最速は1.91秒、最遅は8.79秒であった。

表2 課題1の競技規約

課題1：車輪を使わない前進ロボットタイムアタック
評価基準：ゴールまでの時間
ルール：距離1mのコースにおいて可能な限り早くスタートからゴールまで移動する。コースアウトした場合は、競技者がロボットをSTARTラインに戻し、再スタート行う。再スタートの際も時間計測を続ける。

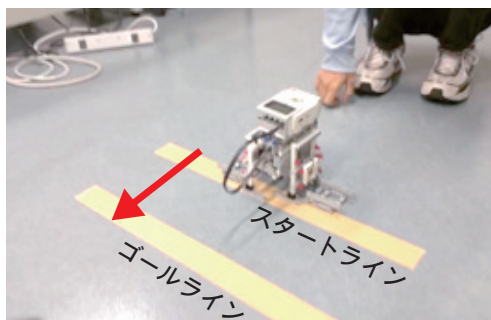


図4 課題1実施チームの例

### 3.3 課題2の講義設計

課題1終了後、メンバーの入れ替えを行った。課題2ではカラーセンサを用いたライントレースの課題とした。図5に示すようにコースはA1サイズの用紙に黒色の楕円コースが描かれた市販のコース（楕円コース [WRC0001]）を使用した。

表3に示す課題2の競技規約とライントレースを行うための基本的なロボットの構成と制御プログラムを教授した。その後、各チームでタイムアタックを行った。

図6に課題2において各チームで作成したロボットの例を示す。スタート地点とゴール地点は同じでコースを周回することになる。9チームが参加し、平均11.97秒

表3 課題2の競技規約

課題2：ライントレースタイムアタック
評価基準：コースを1周する時間
ルール：ライントレースのサンプルプログラムを改良し、より早くコースを1周する。コースは左回り、右回りは問わない。

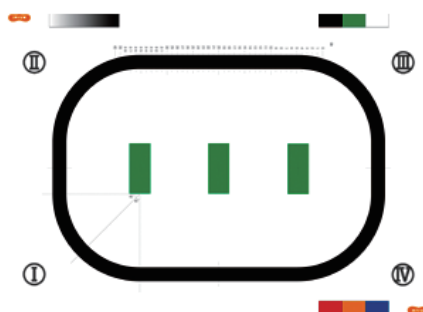


図5 課題2で使用するコース（楕円コース [WRC0001]）

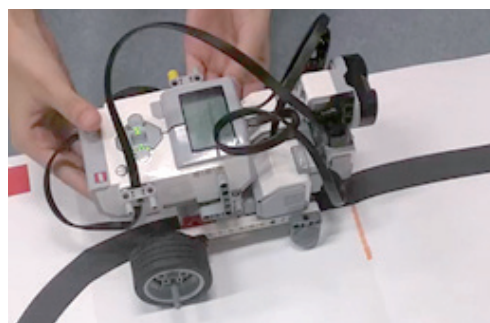


図6 課題2実施チームの例



でゴールまで到達できた。最速は7.26秒、最遅は22.86秒であった。

### 3.4 課題3の講義設計

課題2終了後、メンバーの入れ替えを行った。課題3ではチームでテーマを設定し、ロボットの制作と制御を行う。図7に課題3において各チームで作成したロボットの例を示す。

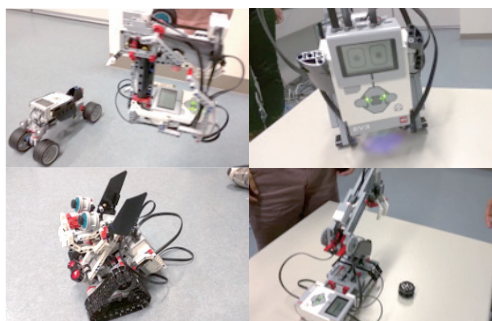


図7 課題3実施チームの例

### 3.5 アンケート項目

課題1～課題3の各回において、以下のアンケート項目について5段階（5：とても当てはまる、4：けっこう当てはまる、3：まあ当てはまる、2：あまり当てはまらない、1：ぜんぜん当てはまらない）で回答を行わせた。

アンケート項目（15項目）：

- (1) 思うようにプログラミングできましたか？
- (2) プログラミングを楽しめましたか？
- (3) 思うようにロボットを組み立てられましたか？
- (4) ロボットの組み立てを楽しめましたか？
- (5) 思うようにプロジェクトに貢献できましたか？
- (6) プロジェクトは楽しめましたか？
- (7) プロジェクトには積極的に参加できましたか？
- (8) プロジェクトを通して、プログラミン

グの知識がさらに身に付きましたか？

- (9) プロジェクトのために、事前に勉強したり、後で調べたりしましたか？
- (10) プロジェクトの中で、自分で課題を見つけて、その解決に取り組めましたか？
- (11) プロジェクトを通して、プログラミングへの興味が増えましたか？
- (12) プロジェクトを通して、「ものづくり」をしたいと思いますか？
- (13) プロジェクトを通して、もっと深くプログラミングを学びたいと思うようになりましたか？
- (14) プロジェクトを通して、他の受講生たちと関係が深まったと思いますか？
- (15) 今回のプロジェクトには満足していますか？

アンケート項目（記述式）

- (1) 今回、自分としては良く頑張れたことを記述ください
- (2) 今回、頑張れなかったことを記述ください
- (3) 次回、同じようなプロジェクトがあれば、どういったことを頑張りたいですか？
- (4) 次回、同じようなプロジェクトがある場合、どのような要望がありますか？

## 4. アンケート分析

アンケートの回答数は課題1で34人、課題2で35人、課題3で38人であった。表4に課題ごとのアンケート結果を示す。アンケート項目の結果より、課題3において各項目の評価値が一番高いことが確認できた。また、記述式の項目(2)からは課題1では「何をしたらよいのか分からなかった」「積極的に参加できなかった」などの消極的なコメントが多かったが、課題が進むにつれて「実装が間に合わなかった」など目

標を設定して取り組んだが達成できなかった点を上げており、課題への取り組み意識が高くなっていったのが伺える。

しかし、図8に示すように各項目をヒストグラムにより確認したところ、多峰性を示す項目が複数含まれていた。このことから、異なる性質の集団が混在しているものと思われた。そのため、標準化ユークリッド距離を用いたウォード法によりクラスター分析を行った。変数は45（15項目×3課題）、サンプル数は3課題すべてに参加した受講生33人を対象とした。その結果の樹形図を図9に示す。縦軸を受講者ID、横軸をユークリッド平方距離としている。これより、受講生は2つにグルーピングされることが示唆された。

さらに、課題ごと（変数15）に同様にクラスター分析を施し、各グループの傾向を把握するために質問項目の因子分析も行った。因子分析の因子選択には質問項目の固有値と寄与率を算出し、固有値が1.00以上、固有値の累積寄与率が60%以上の因子を適

用した。共通性の初期値をSMCにより推定し、主因子法を用い反復推定することで主因子解を求め、バリマックス回転により最終的な因子を求めた。

本稿では課題3の結果について報告す

表4 課題ごとのアンケート結果

質問項目	課題1 (N=34)	課題2 (N=35)	課題3 (N=38)
(1)	3.26	3.25	3.41
(2)	3.50	3.48	3.66
(3)	3.41	3.52	3.71
(4)	3.62	3.67	3.89
(5)	3.29	3.38	3.60
(6)	3.71	3.77	3.89
(7)	3.65	3.64	3.82
(8)	3.15	3.23	3.46
(9)	3.24	3.25	3.44
(10)	3.50	3.39	3.62
(11)	3.44	3.42	3.65
(12)	3.65	3.64	3.86
(13)	3.47	3.51	3.71
(14)	3.47	3.59	3.85
(15)	3.53	3.61	3.84

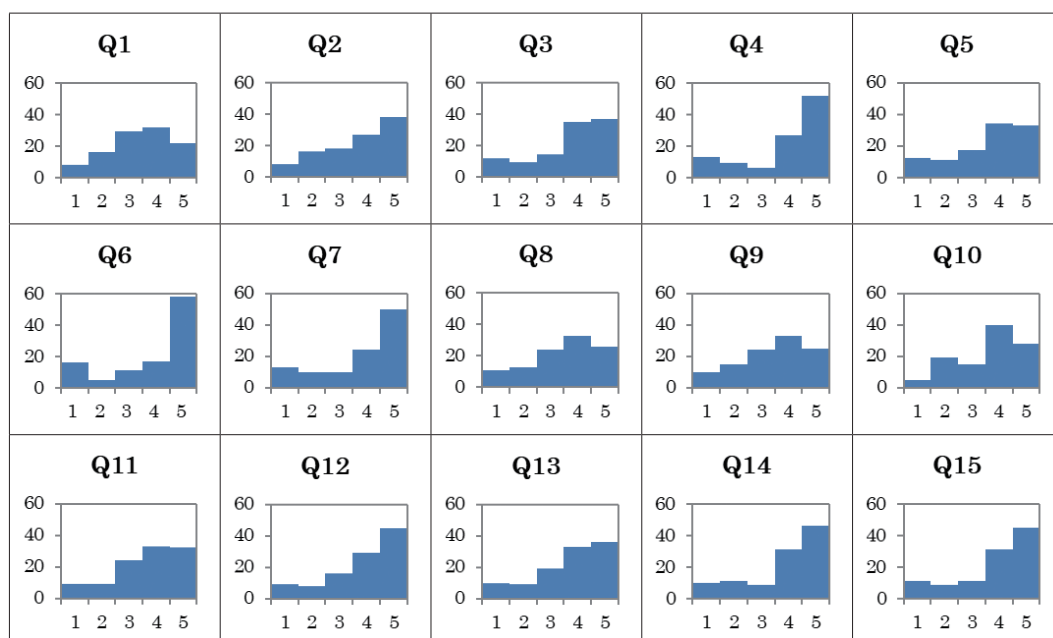


図8 質問項目ごとのヒストグラム



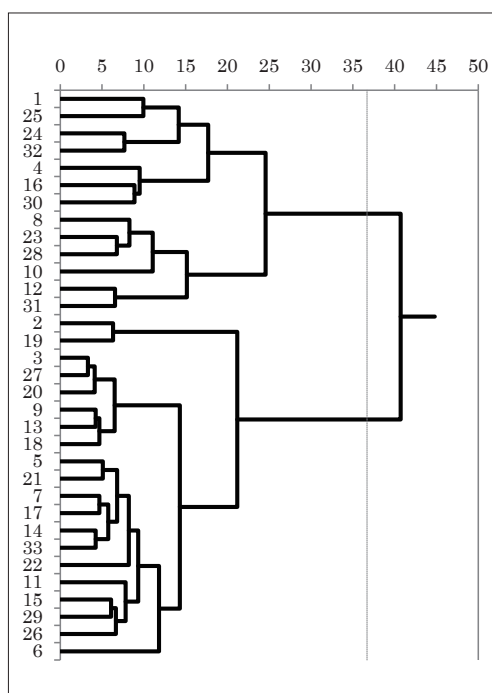


図9 全課題受講者のクラスター樹形図

表5 固有値表

因子	固有値	寄与率	累積寄与率
1	11.1960	74.64%	74.64%
2	1.3189	8.79%	83.43%
3	0.6682	4.45%	87.89%
4	0.3972	2.65%	90.53%
5	0.3556	2.37%	92.91%
6	0.2450	1.63%	94.54%
7	0.2026	1.35%	95.89%
8	0.1792	1.19%	97.08%
9	0.1312	0.87%	97.96%
10	0.0860	0.57%	98.53%
11	0.0692	0.46%	98.99%
12	0.0586	0.39%	99.38%
13	0.0394	0.26%	99.65%
14	0.0266	0.18%	99.83%
15	0.0262	0.17%	100.00%

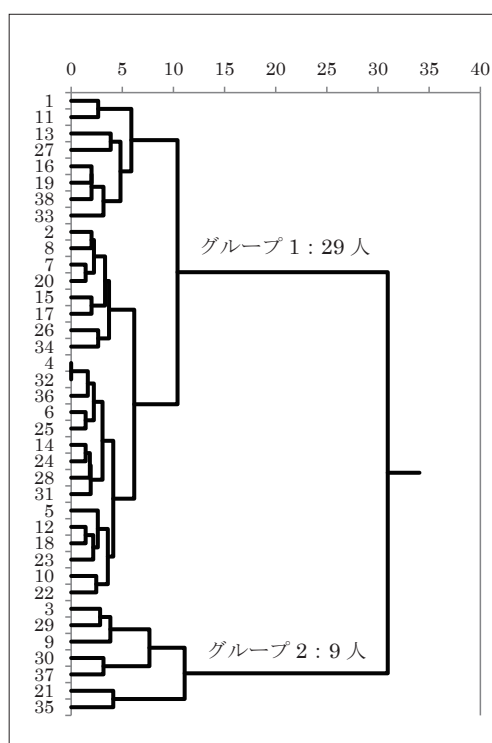


図10 課題3受講者のクラスター樹形図

表6 因子負荷量行列（回転後）

変数	因子 1	因子 2
Q 1	0.3933	0.5995
Q 2	0.5401	0.7227
Q 3	0.8557	0.2289
Q 4	0.9304	0.2724
Q 5	0.7484	0.4504
Q 6	0.8187	0.4539
Q 7	0.7264	0.4740
Q 8	0.4092	0.8674
Q 9	0.1430	0.8097
Q10	0.5083	0.6854
Q11	0.4090	0.8100
Q12	0.7474	0.5519
Q13	0.5477	0.7863
Q14	0.7521	0.6009
Q15	0.7938	0.4558

表7 因子分析の結果

因子1：課題に対する興味
(4) ロボットの組み立てを楽しめましたか？ (0.93)
(3) 思うようにロボットを組み立てられましたか？ (0.86)
(6) プロジェクトは楽しめましたか？ (0.82)
因子2：学習の自己評価
(8) プロジェクトを通して、プログラミングの知識がさらに身に付きましたか？ (0.87)
(11) プロジェクトを通して、プログラミングへの興味が増えましたか？ (0.81)
(9) プロジェクトのために、事前に勉強したり、後で調べたりしましたか？ (0.81)

( ) 内は因子負荷量

表8 課題3受講生の因子得点

ID	因子1	因子2	グループ
11	1.2363	-1.2062	1
1	0.5566	-0.5807	1
13	0.3114	-0.9536	1
16	-0.0454	0.1456	1
38	-0.1911	0.2435	1
33	-0.3849	0.3270	1
19	-0.4294	0.3752	1
27	-1.0274	0.2091	1
23	0.8990	-0.2065	1
20	0.6544	0.1863	1
14	0.6030	0.3999	1
12	0.6004	0.1464	1
18	0.5768	0.1936	1
5	0.5755	-0.1140	1
24	0.5388	0.3560	1
31	0.5294	0.3360	1
10	0.4745	0.2744	1
7	0.4588	0.5776	1
34	0.4446	-0.0377	1

ID	因子1	因子2	グループ
34	0.4446	-0.0377	1
28	0.4218	0.2953	1
36	0.3183	0.8894	1
8	0.2642	0.5884	1
2	0.2415	0.7821	1
25	0.2359	0.9197	1
17	0.2291	0.7021	1
6	0.2269	0.8102	1
15	0.1758	0.7005	1
26	-0.1166	0.8493	1
22	-0.4339	1.1023	1
35	1.2108	-3.5832	2
21	0.8039	-2.5594	2
4	0.5218	0.5984	2
32	0.5218	0.5984	2
9	-1.7581	-0.8000	2
29	-1.9436	0.0210	2
3	-2.2661	0.1905	2
30	-2.4073	-1.3843	2
37	-2.6275	-1.3927	2

る。クラスター分析の結果、グループ1 (29人)とグループ2 (9人)の2つが得られた。図10に縦軸を受講者ID、横軸をユークリッド平方距離とした樹形図を示す。

表5に質問項目の固有値、寄与率、累積寄与率を示す。因子分析の因子選択には質問項目の固有値と寄与率、固有値が1.00以上、固有値の累積寄与率が60%以上の因子を適用した。共通性の初期値をSMCにより推定し、主因子法を用い反復推定することで主因子解を求め、バリマックス回転により最終的な因子を求めた。

共通因子を抽出する因子分析の結果、2

つの因子が得られた。表6に回転後の因子負荷量行列を示す。因子負荷量の高い質問項目から各因子の意味づけを行った結果を表7に示す。

課題3の受講生38人に対して「因子1：課題に関する興味」「因子2：学習の自己評価」の因子得点を算出した結果を表8に示す。その結果、グループ2（9人）では因子1、因子2ともに低い値を示す傾向がみられた。これは、課題1においても同様の傾向があり、課題に対する興味が低く、学習の自己評価も低い学生がいることが示唆された。

## 5. まとめ

我々が取り組んでいる課題解決型学習（PBL）の実施講義概要、ならびに、アンケートの分析結果について報告した。実施講義ではチームで課題を進めるごとに課題に対する興味、積極性、満足度が高まることが確認できた。アンケート結果をクラスター分析と因子分析を用いて解析したところ、課題に対する興味が高く、学習の自己評価も高いグループとそうでないグループの2グループに分けられた。すべての課題をクリアしながらも学習意欲が低い受講生がいることが示唆されたことから、これらの受講生への対応を検討する必要があることが確認できた。また、アンケートに関して、15項目相互の単相関係数を算出したところ、項目(9)以外、単相関係数が0.3以上を示していた。これより、類似した項目が多いことが示されており、項目の精査も検討していきたい。

## 謝辞

本取組は、平成29年度沖縄国際大学FD支援プログラムの助成を受けたものです。

## 参考文献

- (1) 公営社団法人私立大学情報教育協会：「私立大学教員の授業改善白書 平成28年度の調査結果」，大学教育と情報，2017年度第1号，pp.37-51（2017）
- (2) 藤井・藤吉・鈴木・石井：「工学部における問題解決型授業の実践と効果の検証」，日本ロボット学会，vol.31，no.2，pp.16-168（2013）
- (3) 福澤・下窄・祖堅・桐本・油谷：「学生の積極性を促すためのPBLの改善」，平成26年度 工学教育研究講演会講演論文集，プロジェクトマネジメントとPBL-II，3D09，pp.502-503（2014）
- (4) 吉川・片岡：「ロボット制御プログラミングによる情報処理教育の試み」，豊橋創造大学紀要，第14号，pp.61-67（2010）
- (5) 小渡・八幡・金城：「ロボット制御プログラミングによる問題解決能力の養成」，沖縄大学マルチメディア教育研究センター紀要，vol.10，pp.33-37（2010）
- (6) 小渡・曹：「組込みシステム設計における課題解決型学習（PBL）による学習指導の検討」，平成30年度 教育改革ICT戦略大会，A-2（2018）
- (7) 特集号「Mindstormsと高等教育」，人工知能学会誌，vol.21，no.5，pp.517-559（2006）
- (8) ETロボコン：<https://www.etrobo.jp/>（2019年12月1日確認）

